

*А. Ю. Гайструк, Ю. М. Голдобин, А. С. Прошин*  
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург  
[e.yu.pavlyuk@urfu.ru](mailto:e.yu.pavlyuk@urfu.ru)

## ДИНАМИКА ТОПКИ ПАРОВОГО КОТЛА КАК ОБЪЕКТА РЕГУЛИРОВАНИЯ

*В работе рассмотрена динамика топки как объекта регулирования тепловыделения, поддержание оптимального коэффициента избытка воздуха и разрежения. Получены уравнения динамики этих величин в приращениях, передаточные функции и составлены структурные схемы, объединение которых позволяет получить структурную схему топки как объекта регулирования процесса горения топлива.*

*Ключевые слова: топка, тепловой баланс, тепловыделение, уравнение динамики, передаточная функция.*

*A. Yu. Gaistruk, Yu. M. Goldobin, A. S. Proshin*  
Ural Federal University, Ekaterinburg

## DYNAMIC OF A STEAM BOILER FURNACE AS A CONTROL SYSTEM PLANT

*Boiler furnace dynamic as a plant of control system was observed. Dynamic incremental equations of main values were produced as well as process transfer function. Graphic patterns of boiler furnace in order to combustion process control were constructed.*

*Key words: boiler furnace; heat balance; furnace heat release; dynamic equation; transfer function.*

Тепловыделение в топке, определяет интенсивность парообразования в экранных трубах и паропроизводительность котла. При изменении расхода пара потребителем нарушается тепловой баланс котла, что приводит к изменению основных технологических

параметров. Для восстановления параметров требуется изменять тепловыделение в топке, то есть рассматривать топку как объект регулирования тепловой нагрузки с учетом подачи необходимого количества воздуха на горение и удаления продуктов сгорания.

Для получения упрощенных моделей динамики примем, что горение топлива происходит быстро и тепловыделение безынерционно следует за изменением расхода топлива.

Уравнение динамики тепловыделения в топке приращениях можно записать в виде

$$\Delta Q_T = \bar{Q}_H^p \Delta B_T + \bar{B}_T \Delta Q_H^p + \bar{Q}_B c_{pB} \Delta Q_B + \bar{Q}_B c_{pB} \Delta \vartheta_B, \quad (1)$$

где  $\bar{B}_T$  – расход топлива, кг/с;  $\bar{Q}_H^p$  – теплота сгорания топлива, кДж/кг;  $\bar{Q}_B$  – расход воздуха, м<sup>3</sup>/с;  $\bar{\vartheta}_B$  – избыточная температура воздуха, К, в стационарных режимах работы.

Из (1) получаются передаточные функции тепловыделения по различным каналам (2) и структурная схема топki, как объекта тепловыделения (рис. 1).

$$W_1(s) = \frac{\Delta Q_T}{\Delta B_T} = \bar{Q}_H^p; W_2(s) = \frac{\Delta Q_T}{\Delta Q_H^p} = \bar{B}_T; W_3(s) = \frac{\Delta Q_T}{\Delta Q_B} = \bar{Q}_B c_{pB}; W_4(s) = \frac{\Delta Q_T}{\Delta \vartheta_B} = \bar{Q}_B c_{pB}, \quad (2)$$

где  $s$  – оператор.

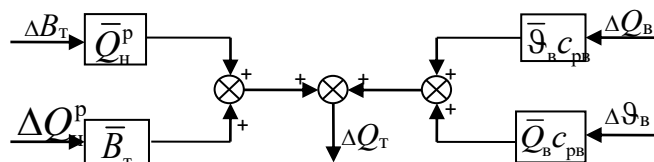


Рис. 1. Структурная схема топki как объекта тепловыделения

На сжигание топлива требуется необходимое количество воздуха, показателем которого является оптимальный коэффициент избытка воздуха  $\alpha$ , уравнение динамики, которого в приращениях будет

$$\Delta \alpha = \frac{1}{L \bar{B}_T} \Delta Q_B - \frac{\bar{Q}_B}{L \bar{B}_T^2} \Delta B_T, \quad (3)$$

где  $L$  – теоретический удельный расход воздуха.

Из (3) следуют передаточные функции по каналам расходов воздуха и топлива

$$W_5(s) = \frac{\Delta \alpha}{\Delta B_T} = -\frac{\bar{Q}_B}{L \bar{B}_T^2}; W_6(s) = \frac{\Delta \alpha}{\Delta Q_B} = \frac{1}{L \bar{B}_T}. \quad (4)$$

Значение  $\Delta\alpha$  как технологического параметра определяется косвенно по содержанию кислорода  $O_2$  в уходящих дымовых газах. Для полного сжигания топлива оно может быть определено по кислородной формуле, из которой получается связь  $O_2$  и  $\alpha$

$$\Delta O_2 = \frac{21}{\alpha^2} \Delta\alpha = K_{O_2} \cdot \Delta\alpha. \quad (5)$$

На практике импульс по содержанию кислорода  $\Delta O_2$  берется за конвективным пароперегревателем, что создает инерционность в измерении. В первом приближении поведение этого канала можно аппроксимировать инерционным звеном второго порядка с запаздыванием  $\tau$  в виде

$$W_7(s) = \frac{\Delta\alpha}{\Delta O_2} = \frac{K_{O_2} \cdot e^{-s\tau}}{(Ts + 1)^2}, \quad (6)$$

где  $T$  – постоянная времени, канала измерения.

Структурная схема топки как объекта регулирования коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  представлена на рис. 2.

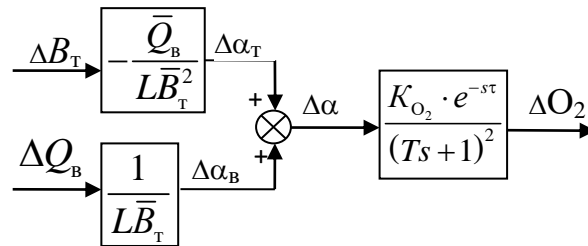


Рис. 2. Структурная схема топки как объекта регулирования  $\alpha$

При сжигании топлива образуются дымовые газы, которые удаляются дымососом. Показателем баланса входного  $Q_{дг}^{вх}$  и выходного  $Q_{дг}^{вых}$  потоков является разрежение в топке. Уравнение динамики разрежения в приращениях имеет вид

$$T_{об} \frac{d\Delta p_T}{dt} = Q_{дг}^{вх} - Q_{дг}^{вых}, \quad (7)$$

где  $T_{об} = (V_T \bar{\rho}_{дг}) / \bar{p}_T$  – постоянная времени топки по разрежению;  $V_T$  – объем топки;  $\bar{\rho}_{дг}$  – средняя плотность дымовых газов;  $\bar{p}_T$  – разрежение в топке в статическом режиме работы.

Если  $Q_{дг}^{вх} = (B_T + Q_B)$  известно, то  $Q_{дг}^{вых}$  зависит от ряда факторов и требует определения.

Примем следующие допущения: разрежение в топке  $p_T$  не влияет на приток газов  $Q_{дг}^{вх}$ , газоход после дымососа короткий и его гидравлическим сопротивлением можно пренебречь. Тогда все сводится к рассмотрению баланса давлений по тракту котла, в приращениях

$$\Delta p_T + \Delta(\Delta p_d) = \Delta(\Delta p_{тр}) + \Delta(\Delta p_{р.о.}), \quad (8)$$

где  $\Delta p_d$ ,  $\Delta p_{тр}$ ,  $\Delta p_{р.о.}$  – напор дымососа, сопротивление тракта котла и сопротивление регулирующего органа.

По этим участкам известны функциональные зависимости, которые позволяют получить уравнение динамики в отклонениях:

$$\Delta(\Delta p_d) = \frac{\partial(\Delta p_d)}{\partial Q_{дг}^{вх}} \Delta Q_{дг}^{вх} + \frac{\partial(\Delta p_d)}{\partial n} \Delta n = -a_{дг} \Delta Q_{дг}^{вх} + b_{дг} \Delta n, \quad (9)$$

где первые производные обозначены как  $(-a_{дг})$  и  $(b_{дг})$  и могут быть получены по статическим характеристикам дымососа;

$$\Delta(\Delta p_{тр}) = 2K_{тр} \bar{Q}_{дг}^{вх} \Delta Q_{дг}^{вх} = a_{тр} \Delta Q_{дг}^{вх}, \quad (10)$$

где  $K_{тр}$  – приведенный коэффициент сопротивления тракта котла;

$$\Delta(\Delta p_{р.о.}) = \frac{2K_{р.о.} \bar{Q}_{дг}^{вх}}{(\bar{F}_{р.о.})^2} \Delta Q_{дг}^{вх} - \frac{2K_{р.о.} (\bar{Q}_{дг}^{вх})^2}{(\bar{F}_{р.о.})^2} \Delta F_{р.о.} = a_{р.о.} \Delta Q_{дг}^{вх} - b_{р.о.} \Delta F_{р.о.}, \quad (11)$$

где  $K_{р.о.}$  – коэффициент, который может быть определен расчетным или экспериментальным путем.

Подстановка этих выражений в (8) дает

$$Q_{дг}^{вх} = \frac{\Delta p_T + b_{дг} \Delta n + b_{р.о.} \Delta F_{р.о.}}{a_{дг} + a_{тр} + a_{р.о.}}, \quad (12)$$

а подстановка (12) в (7) дает уравнение динамики топки по разрежению и передаточные функции по каналам изменения  $Q_{дг}^{вх}$ ,  $\Delta n$ ,  $\Delta F_{р.о.}$ , что позволяет составить структурную схему в виде (рис. 3)

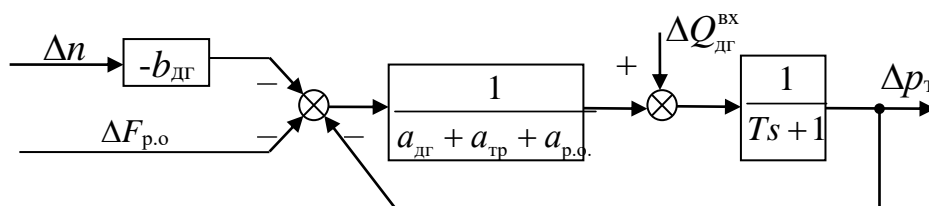


Рис. 3. Структурная схема топки как объекта регулирования разрежения

Объединение структурных схем (рис. 1–3) в единую дает структурную схему топки как объекта регулирования процесса горения топлива.